

CTA 報告87:

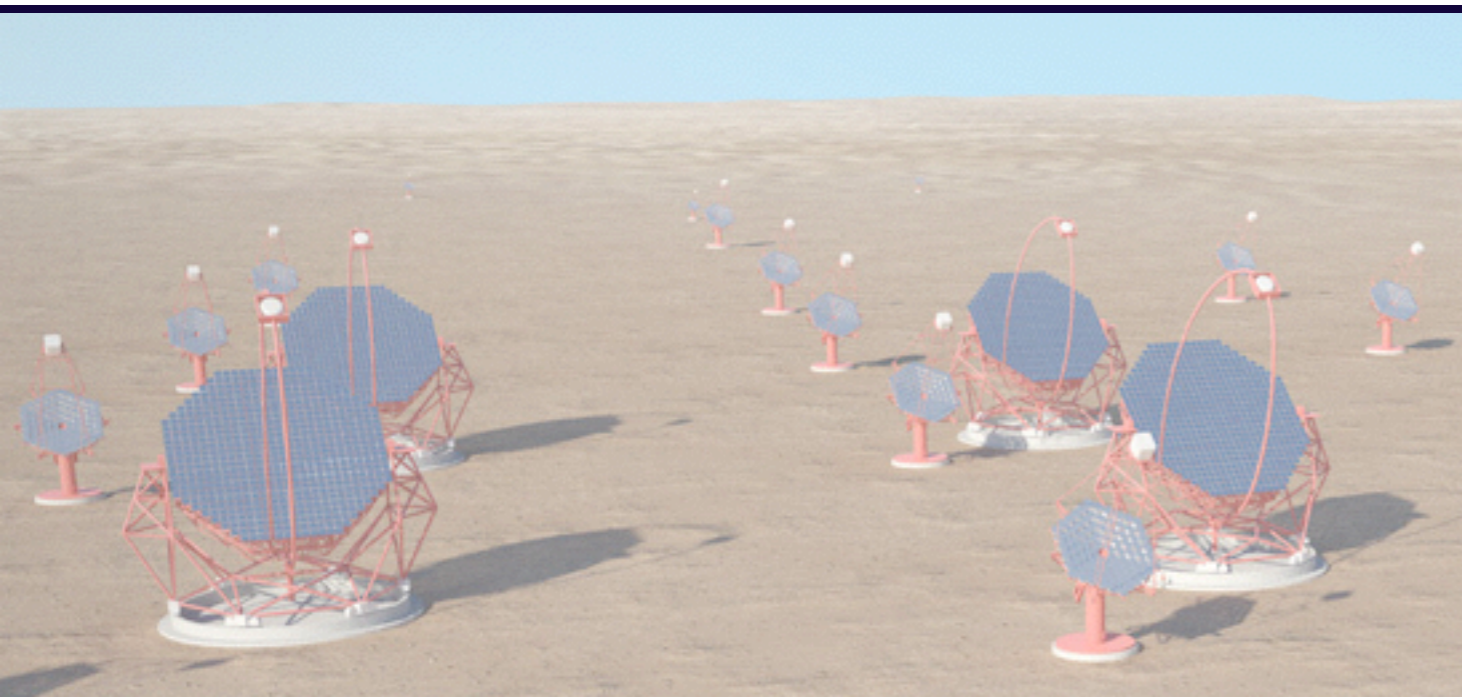
空気シャワーシミュレーションを用いた光学系パラメータに対するCTA大口徑望遠鏡の性能評価

2015.3.21

日本物理学会 第70回年次大会

荻野桃子^A、石尾一馬^A、大石理子^A、奥村暁^{B,C}、
小野祥弥^D、加賀谷美佳^D、片桐秀明^D、櫛田淳子^E、
郡司修一^F、小島拓実^A、斎藤浩二^A、齋藤隆之^G、
榊直人^H、千川道幸^I、長紀仁^D、手嶋政廣^{A,J}、
中嶋大輔^A、西嶋恭司^E、野田浩司^J、花畑義隆^A、
林田将明^A、平井亘^E、深見哲志^A、増田周^G、
柳田昭平^D、山本常夏^K、吉越貴紀^A、吉田龍生^E、
他 CTA-Japan Consortium

東大宇宙線研^A、名大STE研^B、レスター大^C、
茨城大理^D、東海大理^E、山形大理^F、京大理^G、
阪市大数理^H、近畿大理工^I、
Max-Planck-Inst. fuer Phys.^J、甲南大理工^K、



CTA大口径望遠鏡

◆仕様

主鏡口径：23 m

総有効主鏡面積：369 m²

焦点距離：28 m

主鏡PSF：ピクセルサイズ×2/3

総重量：約100 t

視野角：2.25m (4.5 deg)

ピクセルサイズ：50 mm (0.1deg)

分割鏡198枚で放物面の主鏡を構成

焦点距離：28.0 - 29.2 m

PSF：d80 < 1/3 pixel = 16.7 mm @焦点面

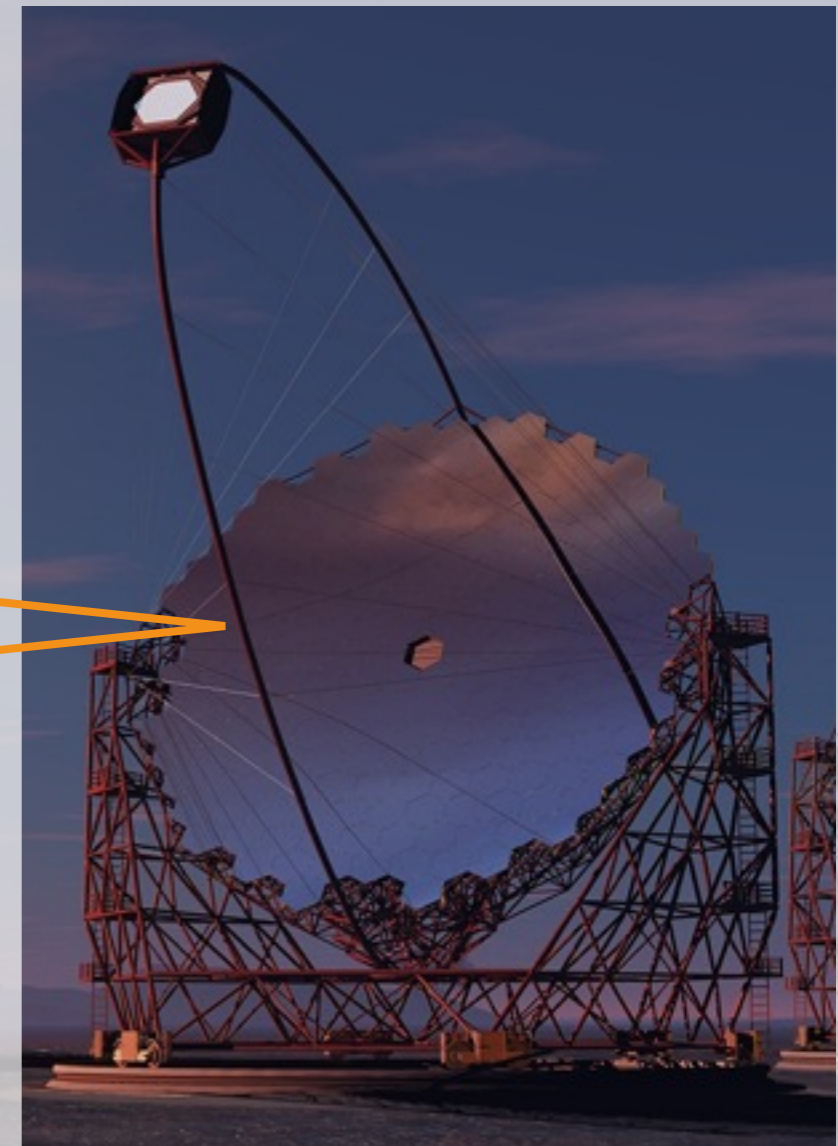
d80：集光された全光子の80%が入る円の直径

平均反射率：> 85% @ 300nm - 550nm

研究の目的：

光学系パラメータの最適化

→大口径望遠鏡のパフォーマンス最大化



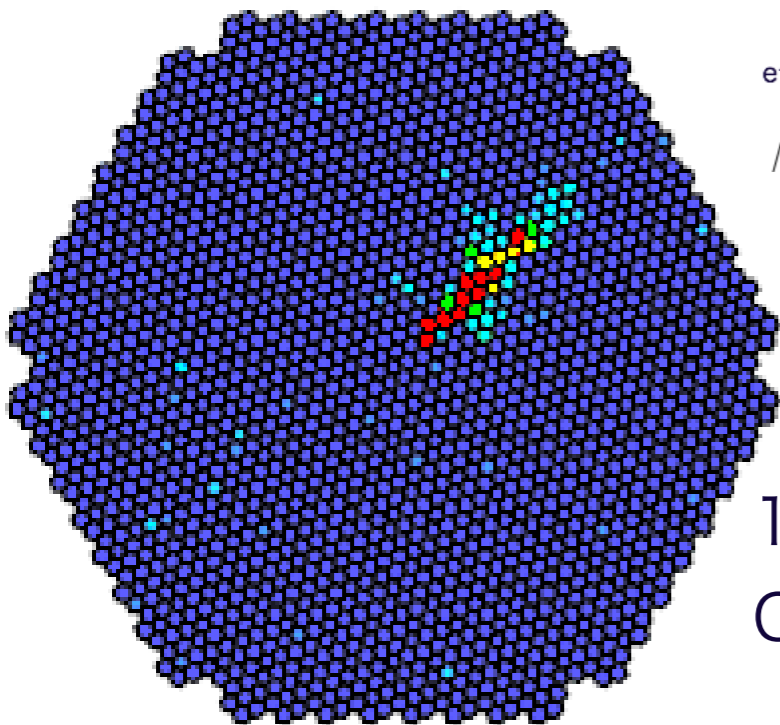
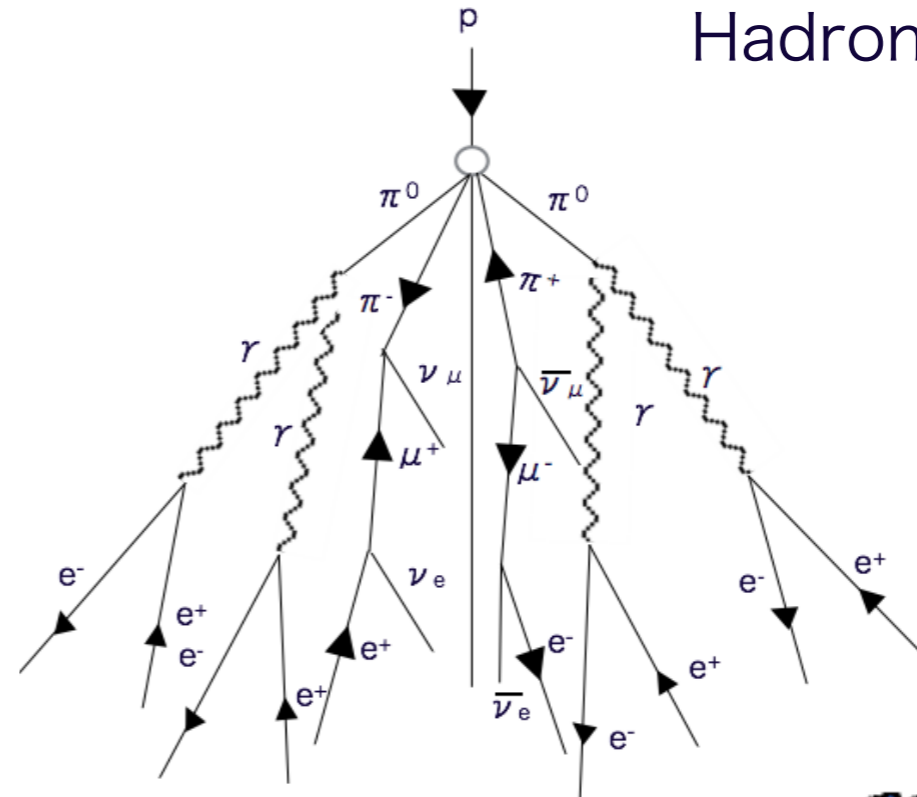
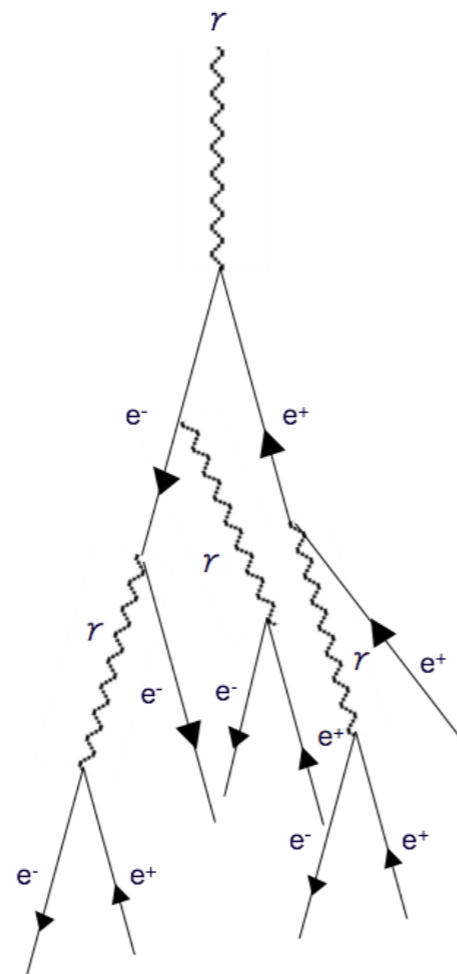
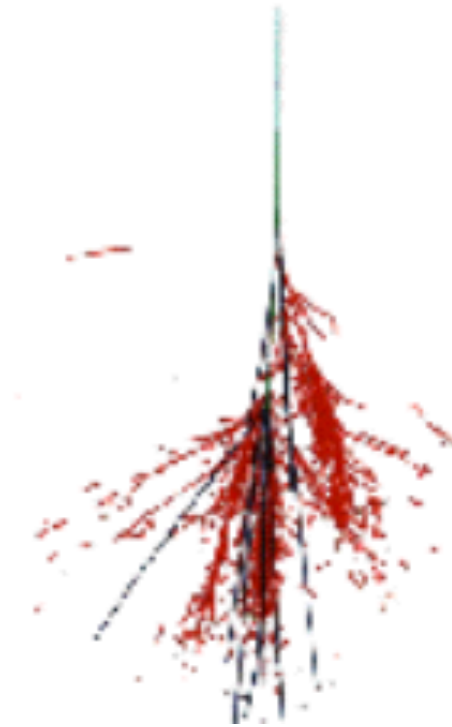
ガンマ・ハドロン分離

◆バックグラウンドとなる大量の宇宙線陽子との識別が重要

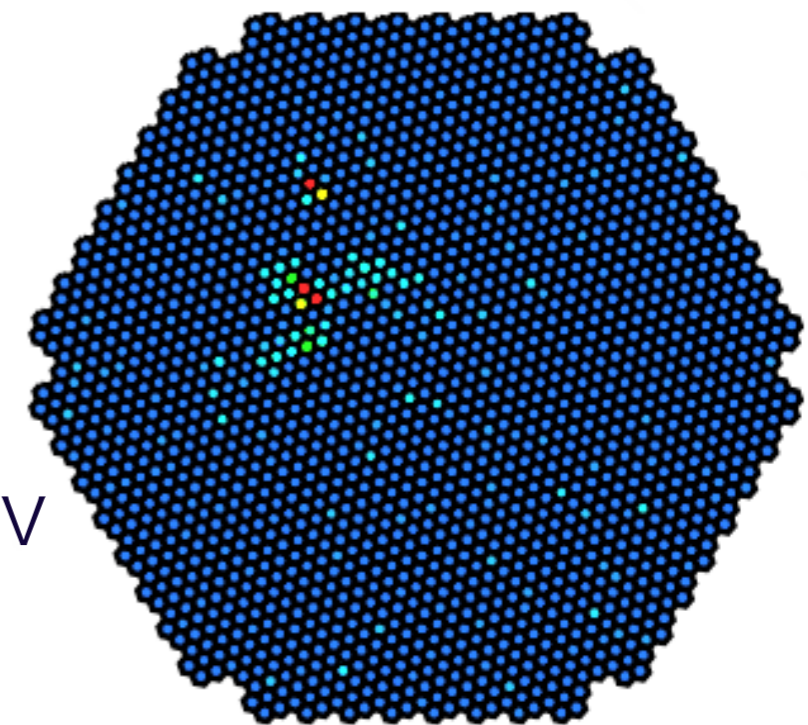
(→Random forest法による多変量解析)

Gamma

Hadron



146GeV
Gamma



1220GeV
Proton

ガンマ・ハドロン分離

◆バックグラウンドとなる大量の宇宙線陽子との識別が重要

(→Random forest法による多変量解析)

Gamma

Hadron

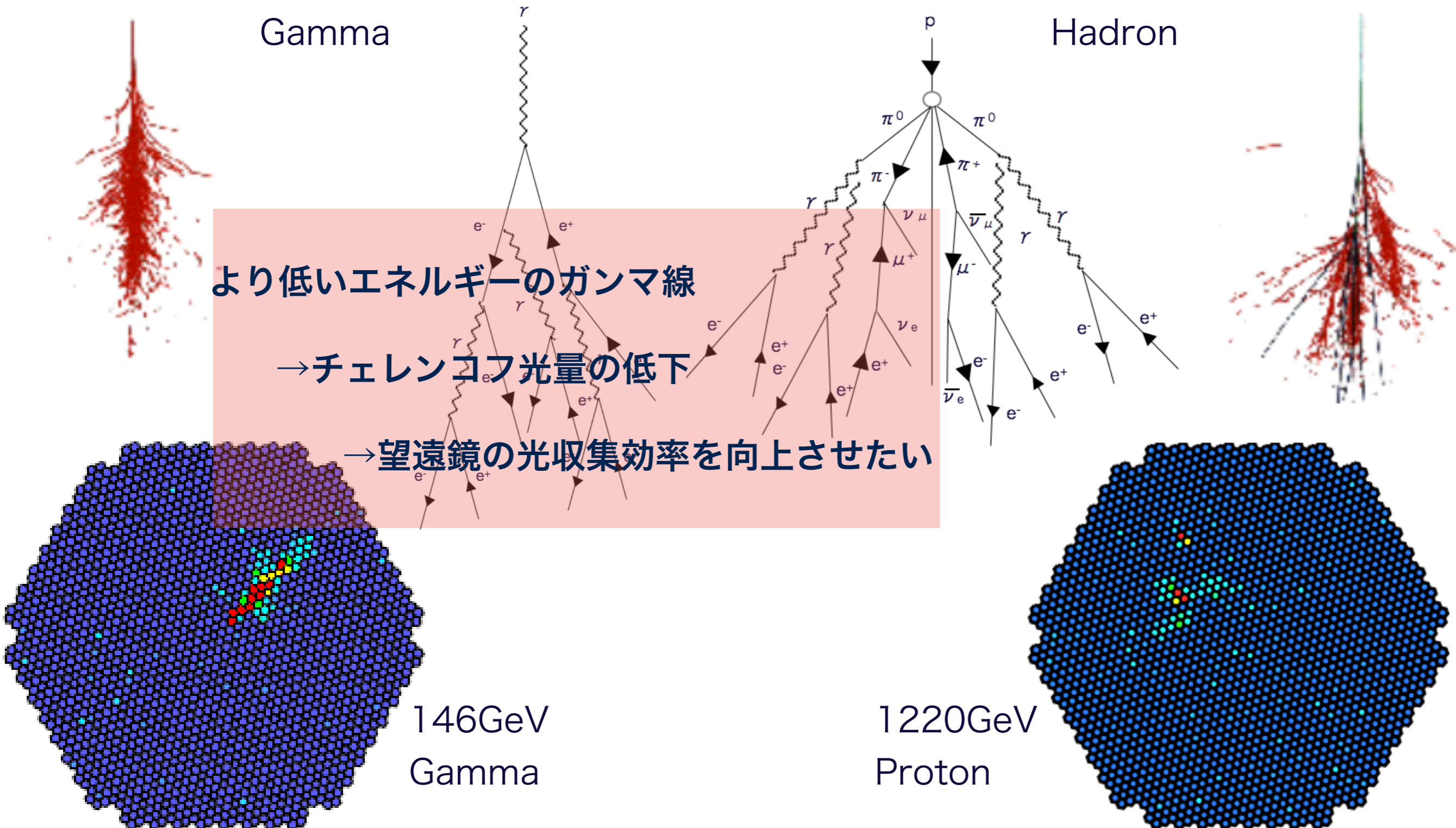
より低いエネルギーのガンマ線

→チェレンコフ光量の低下

→望遠鏡の光収集効率を向上させたい

146GeV
Gamma

1220GeV
Proton



モンテカルロシミュレーションによる大口径望遠鏡 の光学系パラメータ評価

大口径望遠鏡のパフォーマンス最大化のための理解

→光学系パラメータに依存する望遠鏡性能の評価

◆空気シャワーシミュレーション with CORSIKA

→4台の大口径望遠鏡、Canary諸島 (高度2290m)

→生成イベント数 (gamma: 10^8 、proton: 1.4×10^{10} 、electron: 3×10^8)

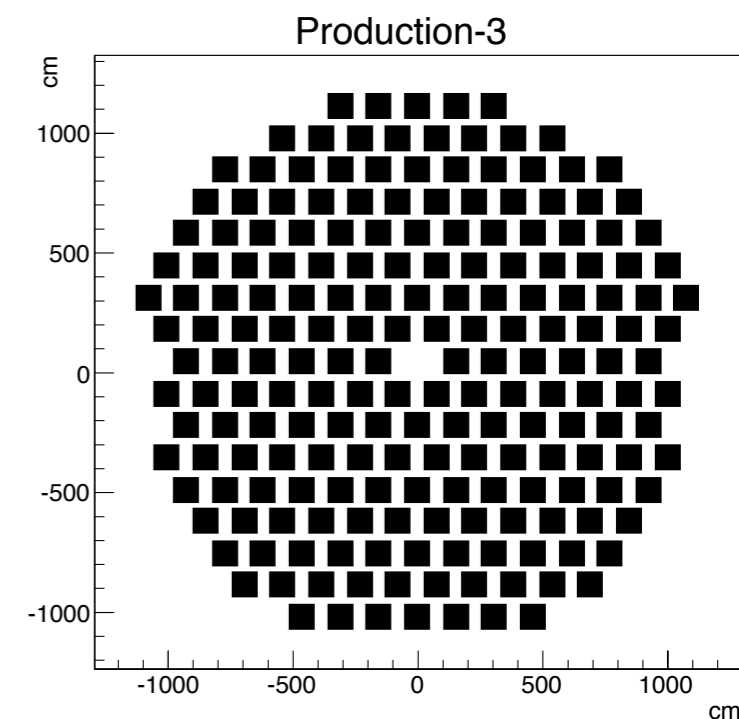
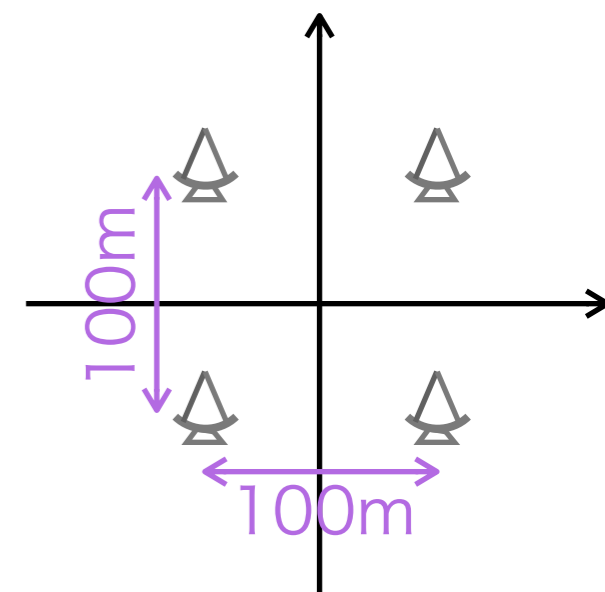
◆検出器応答シミュレーション with Simtelarray

→光学系パラメータの変更

- ・分割鏡配置と焦点距離分布
- ・鏡面反射率やEntrance window透過率を含めた検出器効率

◆シャワーイメージ解析 with MAGIC解析ツール

ガンマ・ハドロン分離など



パラメータ調整による望遠鏡性能の変化の考察

◆望遠鏡のパフォーマンスを最大化したい

- ・焦点面検出器で捉えるチェレンコフ光の光量を増やす
- ・シャワーイメージをより鮮明にしてバックグラウンド識別の性能を向上させる

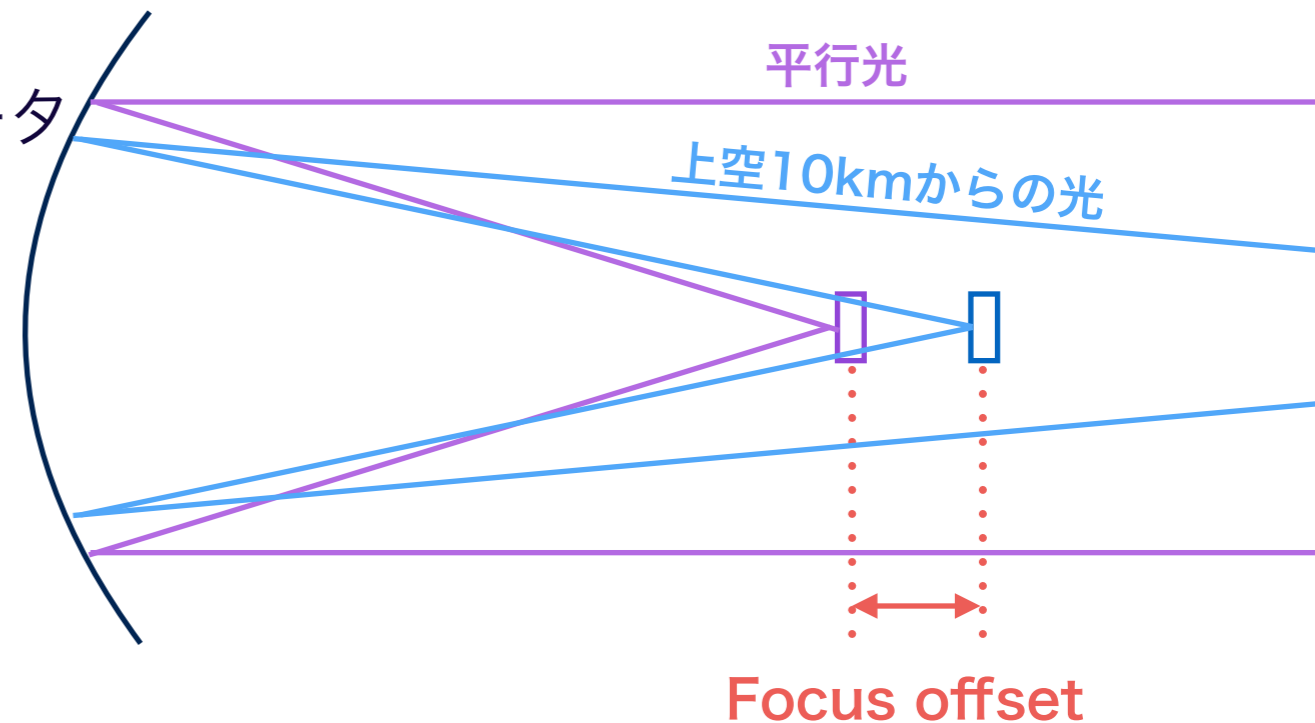
→Focus offset (cm) : $\frac{1}{\frac{1}{2800} - \frac{1}{(\text{Focus point})}} - 2800$

主鏡の焦点を当てる位置に相当するパラメータ

4km, 5km, 6km, 8km, 10km, 12km, 14km,

16km, 32km, Infinityの10通りでシミュレーション

◆大気中で広がりを持って発達するシャワーイメージを鮮明に記録するのに最適な焦点距離を探る



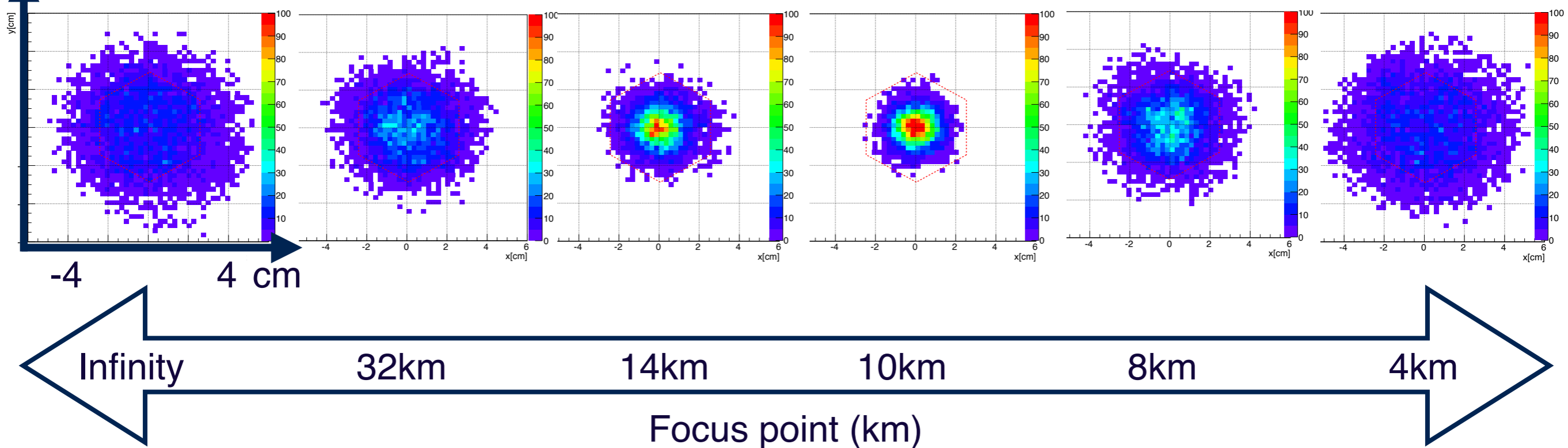
→モンテカルロシミュレーションを用いたガンマ・ハドロン分離による感度評価から最適な値を決定

結像性能 (PSF)

点光源のレイトレースシミュレーション

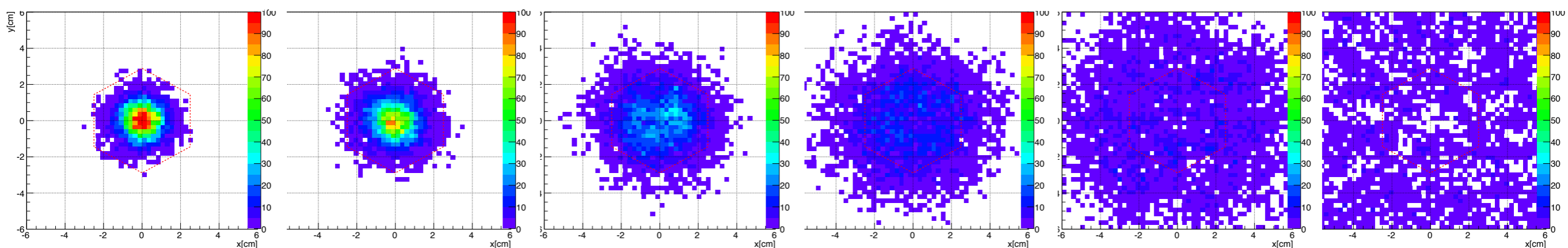
◆望遠鏡から10km離れた点光源 (シャワー発達最大となる位置を想定)

d80 = 64.8mm d80 = 50.0mm d80 = 30.9mm d80 = 24.5mm d80 = 45.9mm d80 = 65.4mm



◆無限遠の点光源

d80 = 25.1mm d80 = 32.4mm d80 = 50.4mm d80 = 67.1mm d80 = 102.0mm d80 = 151.5mm

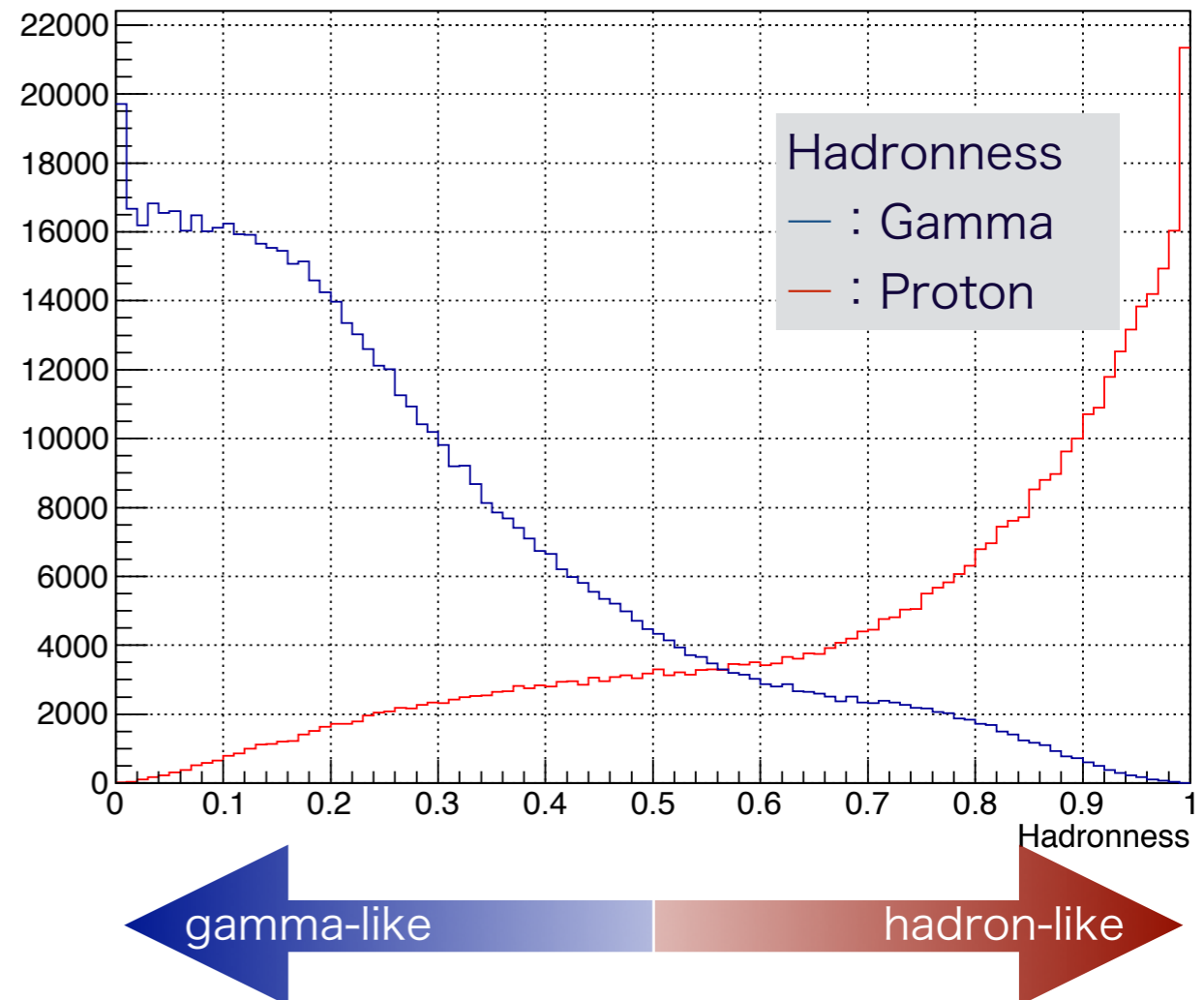
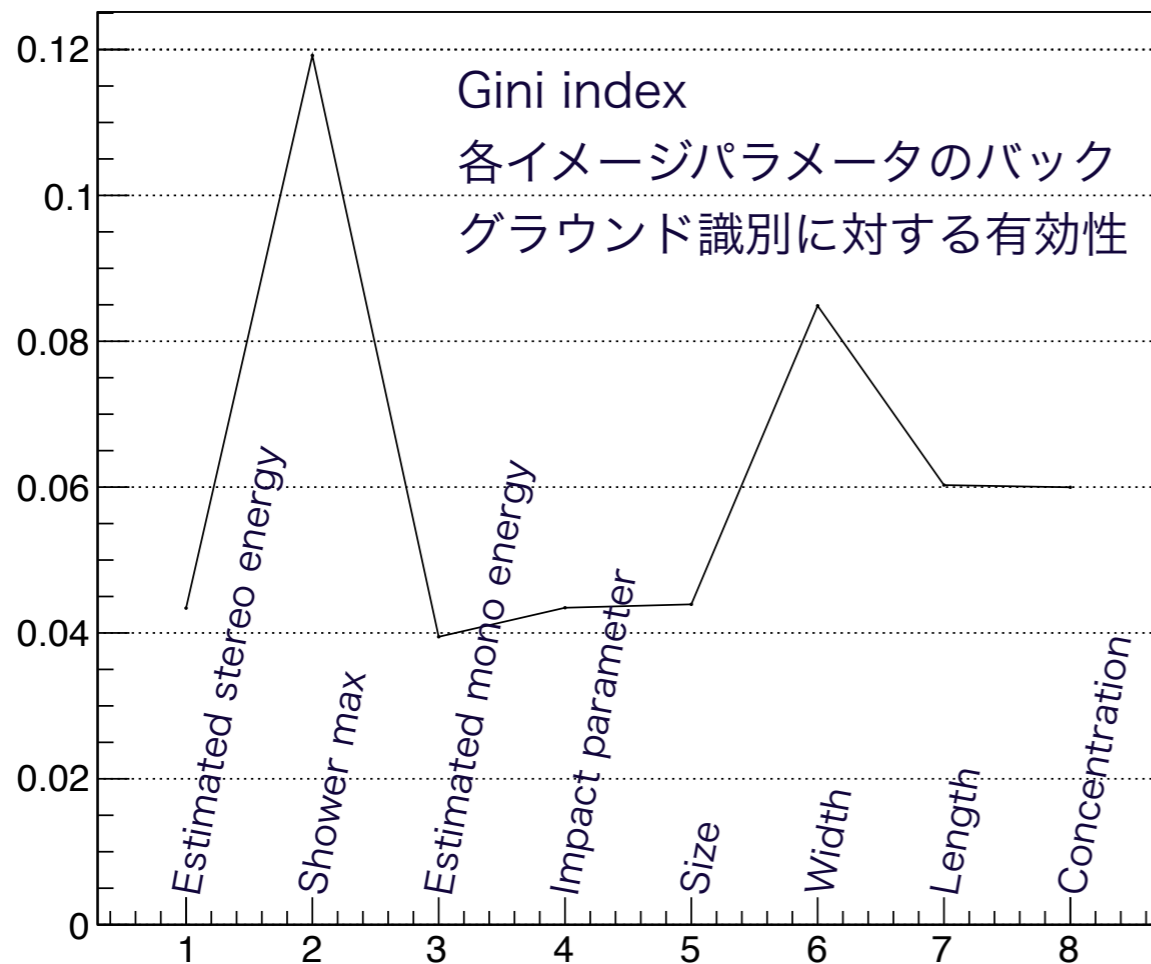
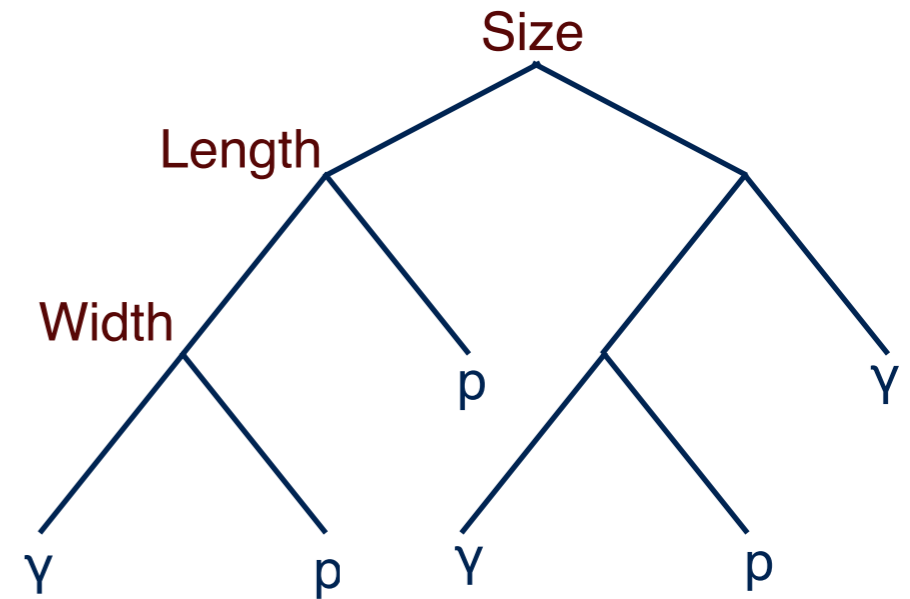


ガンマ・ハドロン分離手法: Random forest

◆ガンマ・ハドロン分離にRandom forest法を採用

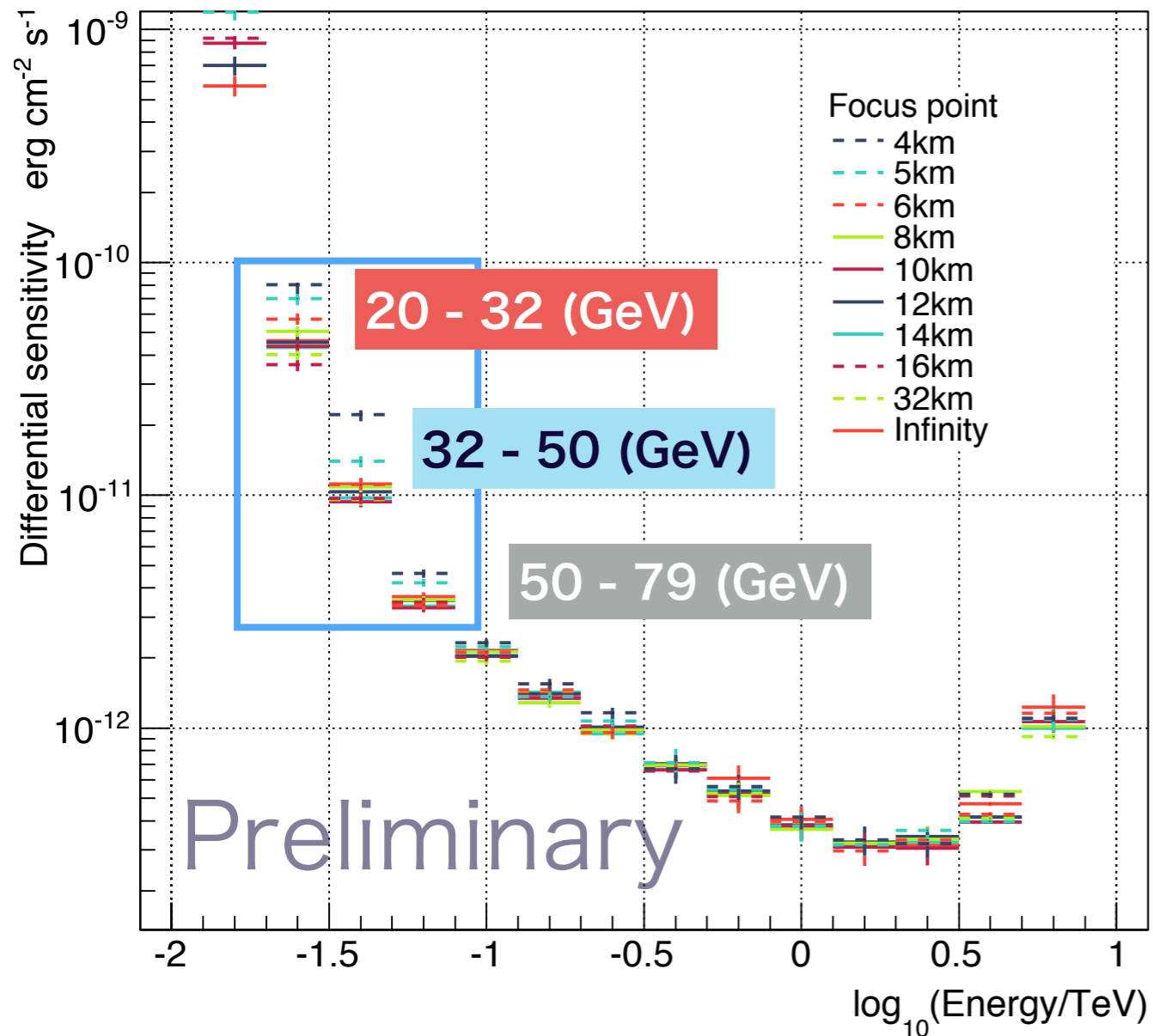
ガンマ線・陽子のサンプルを大量に用意し、ランダムに選び出されたイメージパラメータを用いて最適なcut valueを決定

→ “Hadronness”を導出

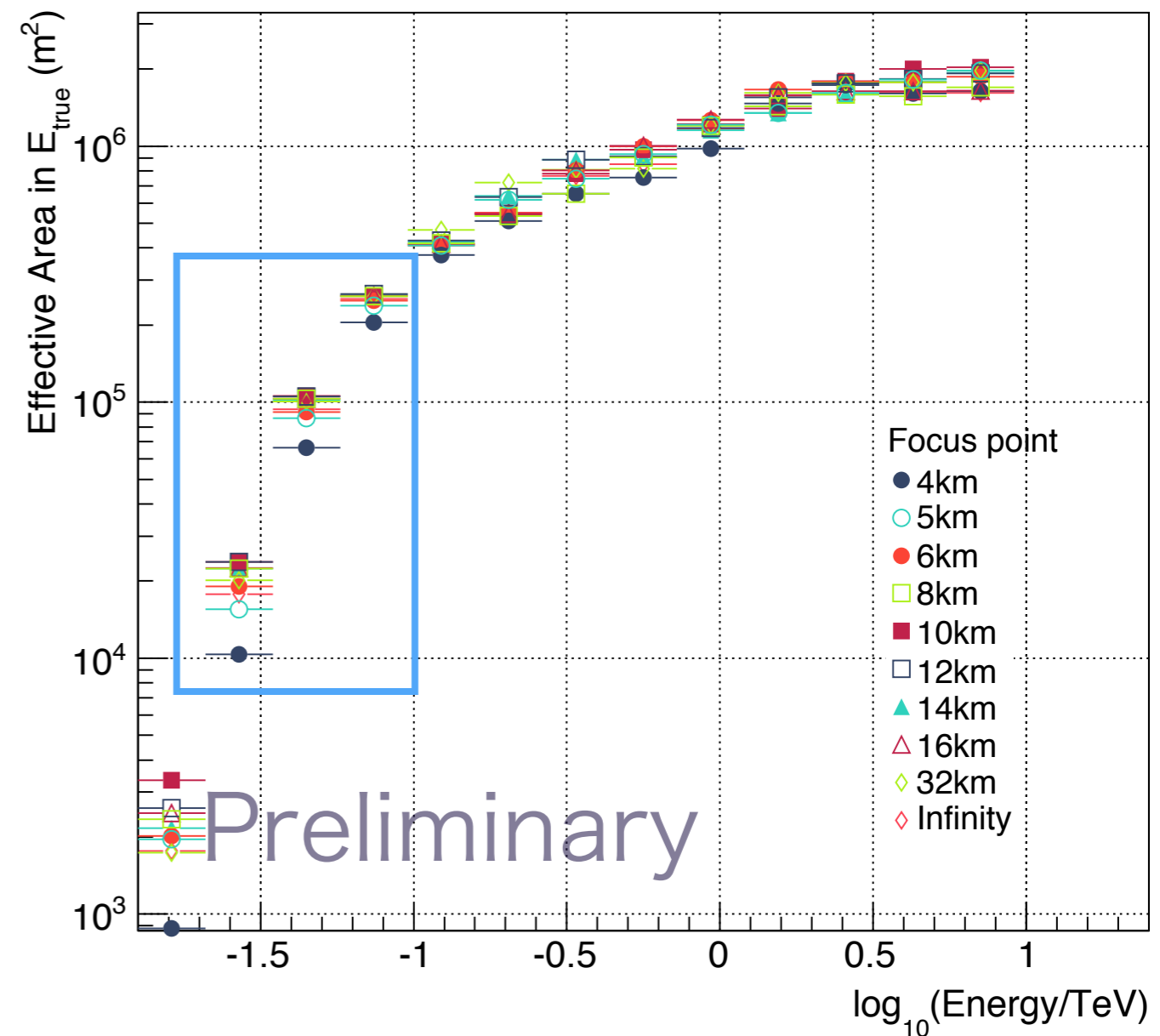


解析結果 (4LSTs, 5σ , 50hours)

◆微分感度



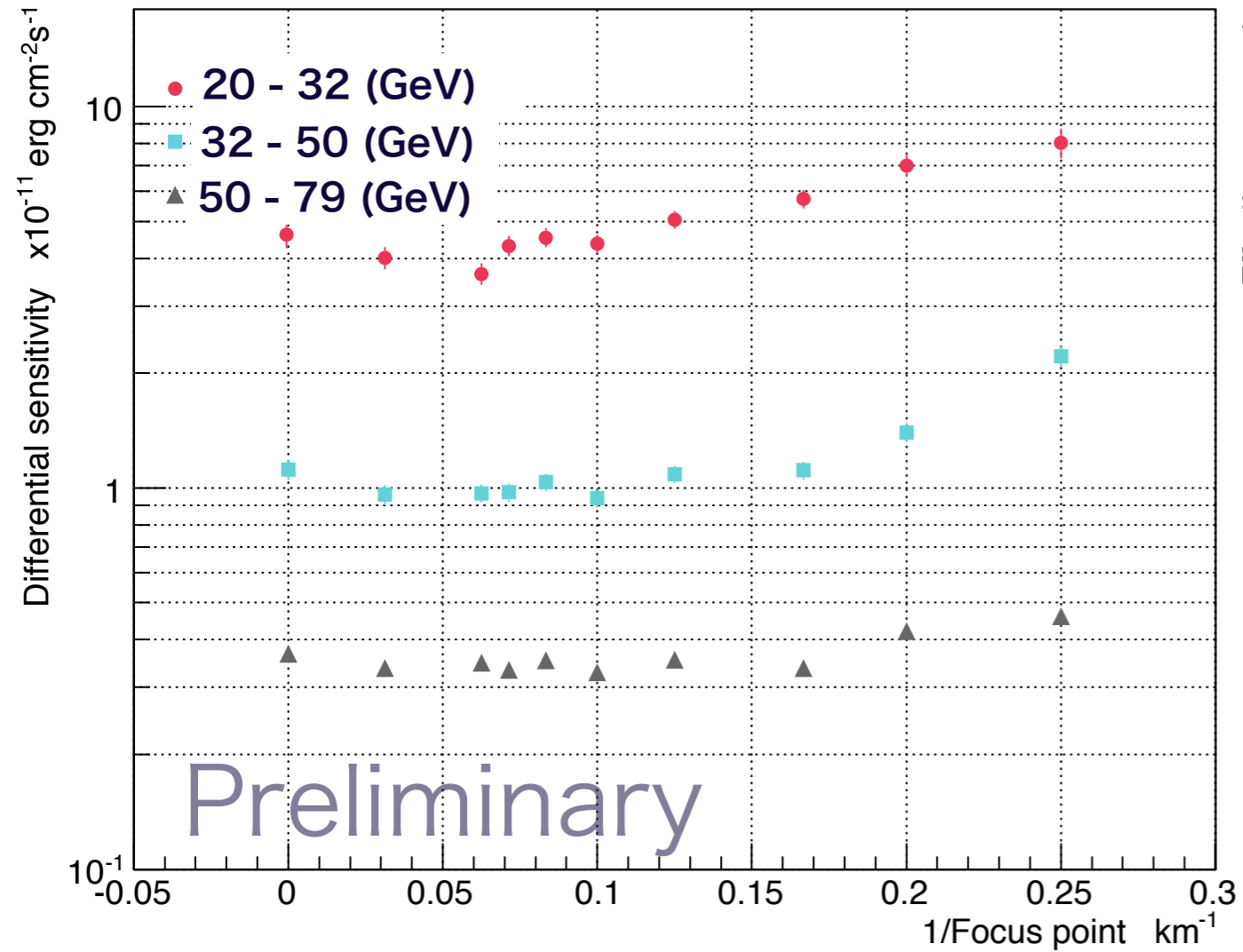
◆有効面積



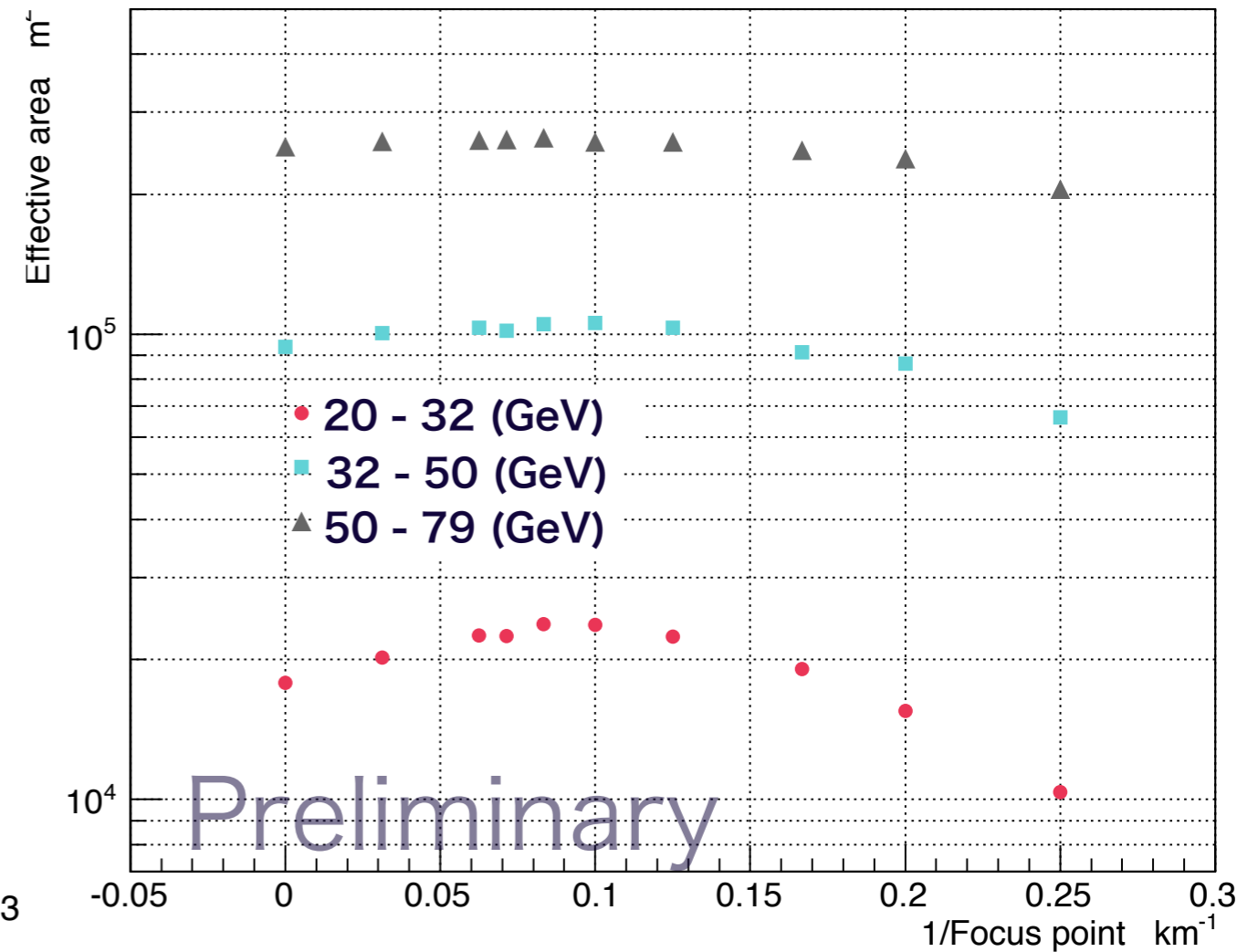
低エネルギー側の3つのエネルギー帯域に注目

解析結果 (20GeV-80GeV)

◆微分感度



◆有効面積



Focus pointによる微分感度・有効面積の変化



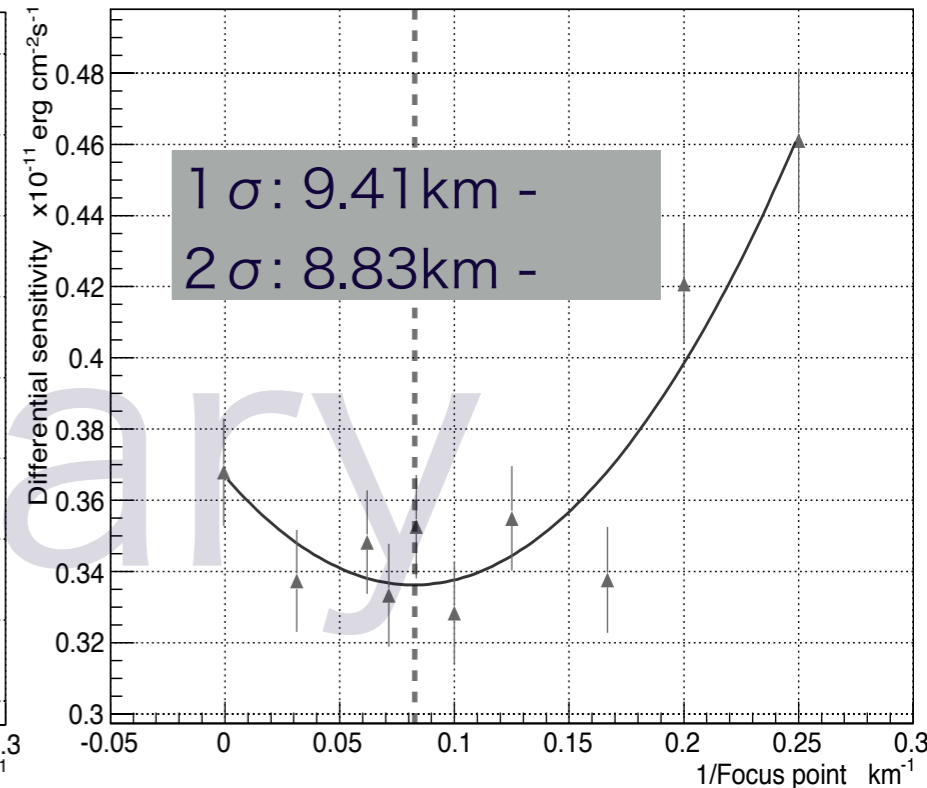
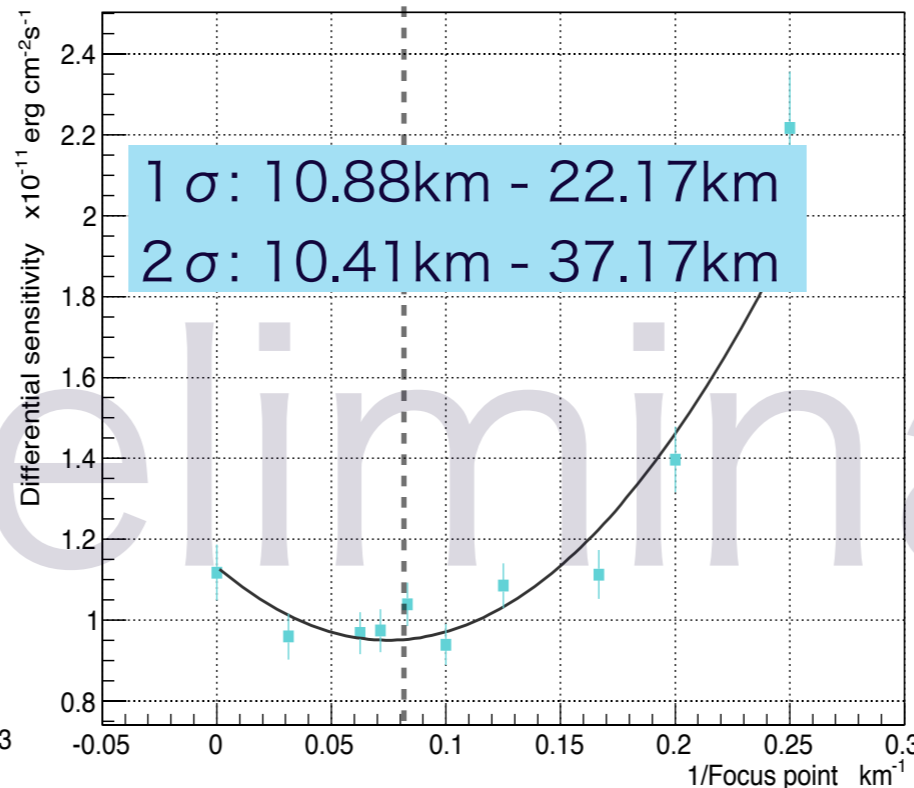
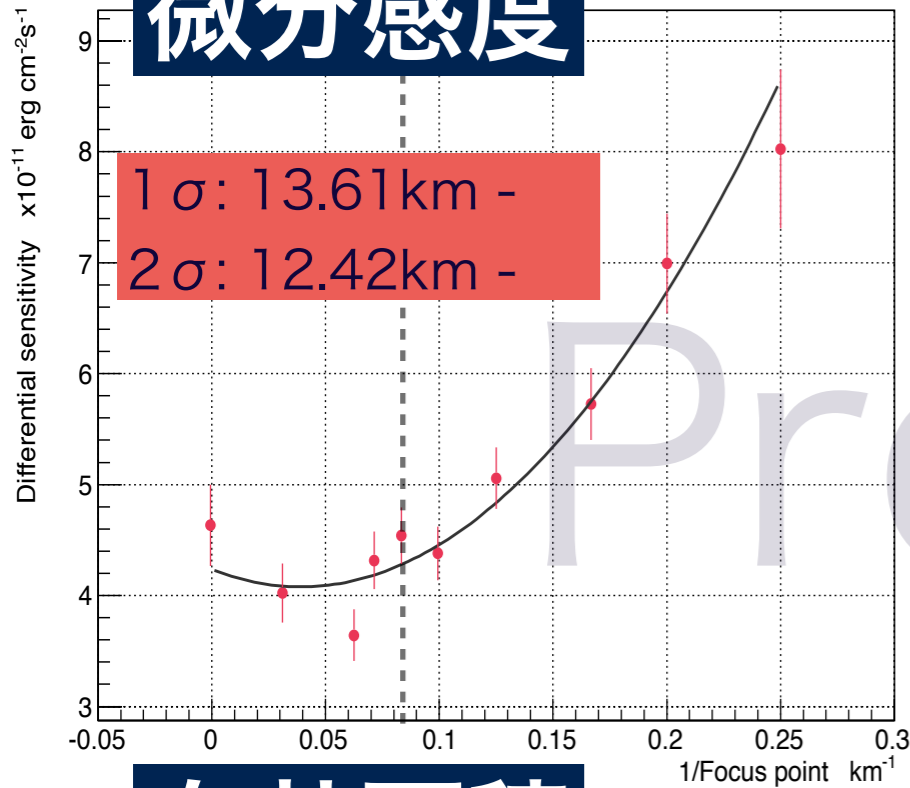
微分感度・有効面積の最適解と信頼区間

20 - 32 (GeV)

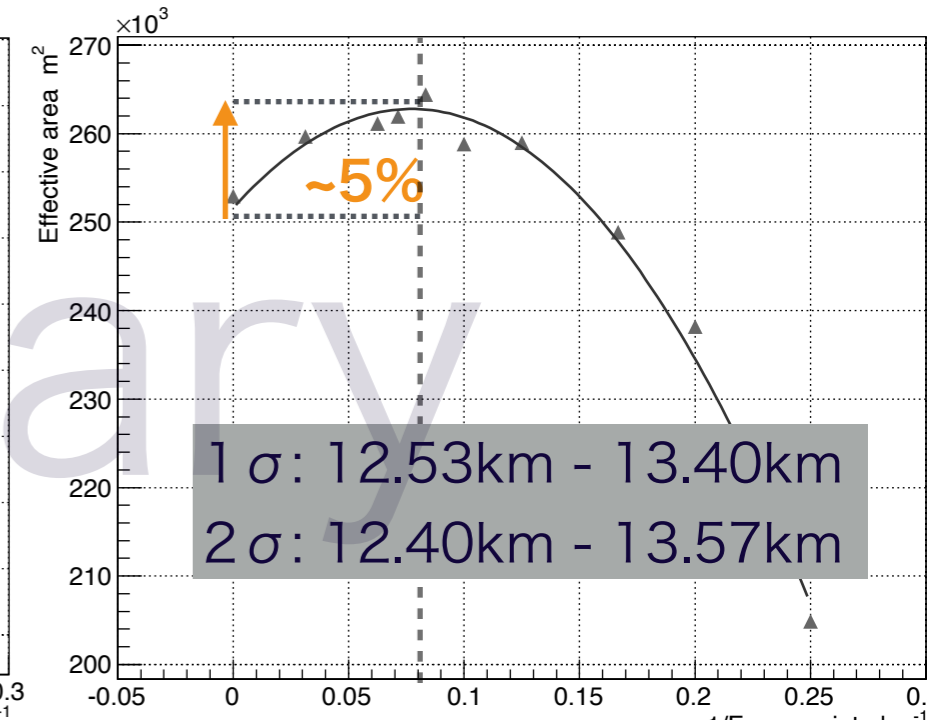
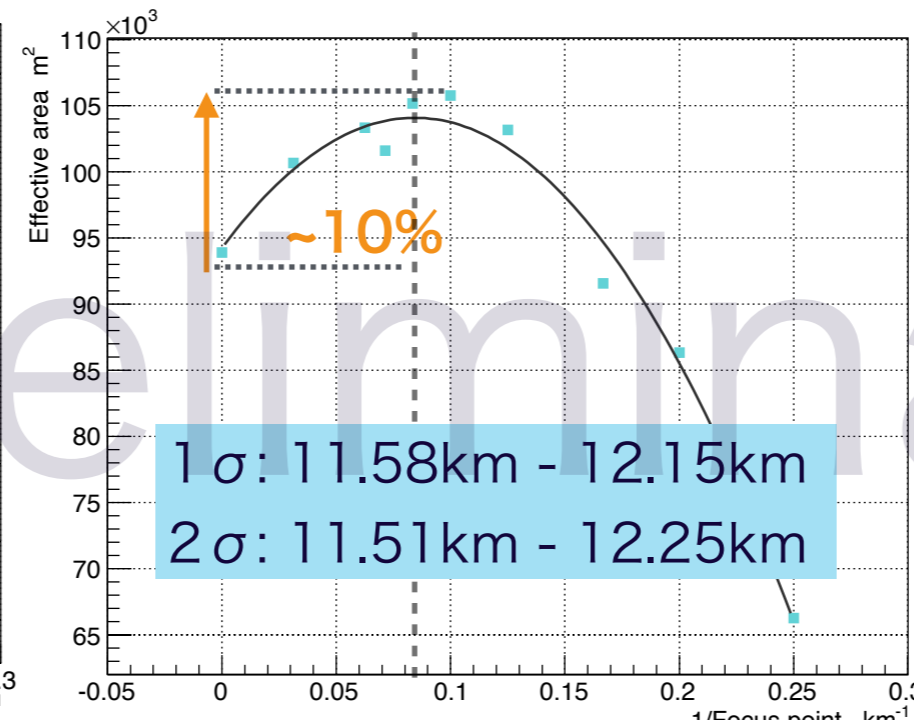
32 - 50 (GeV)

50 - 79 (GeV)

微分感度



有効面積



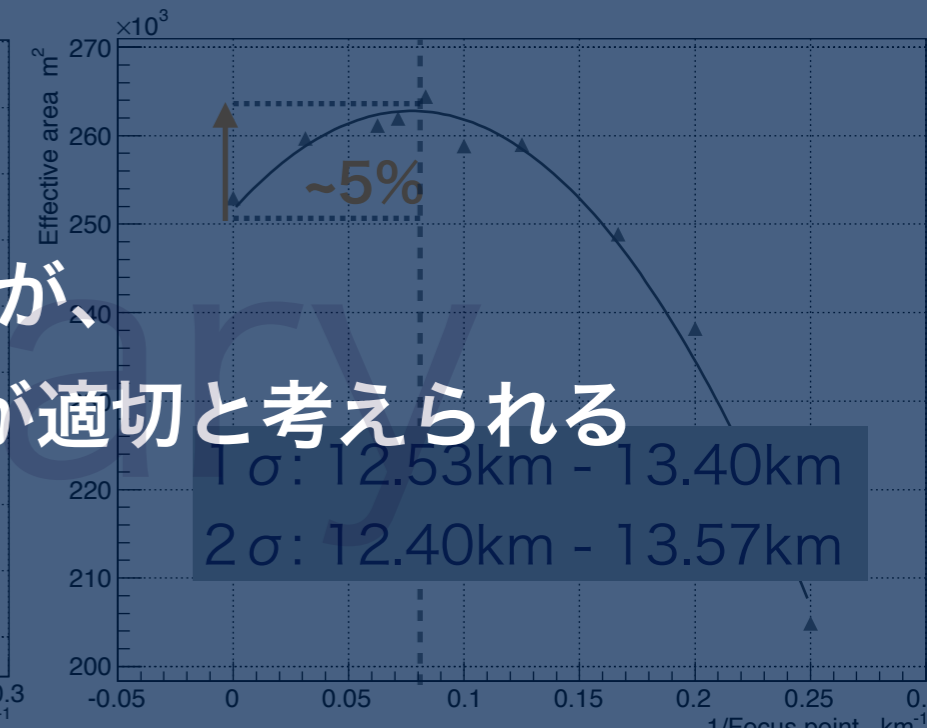
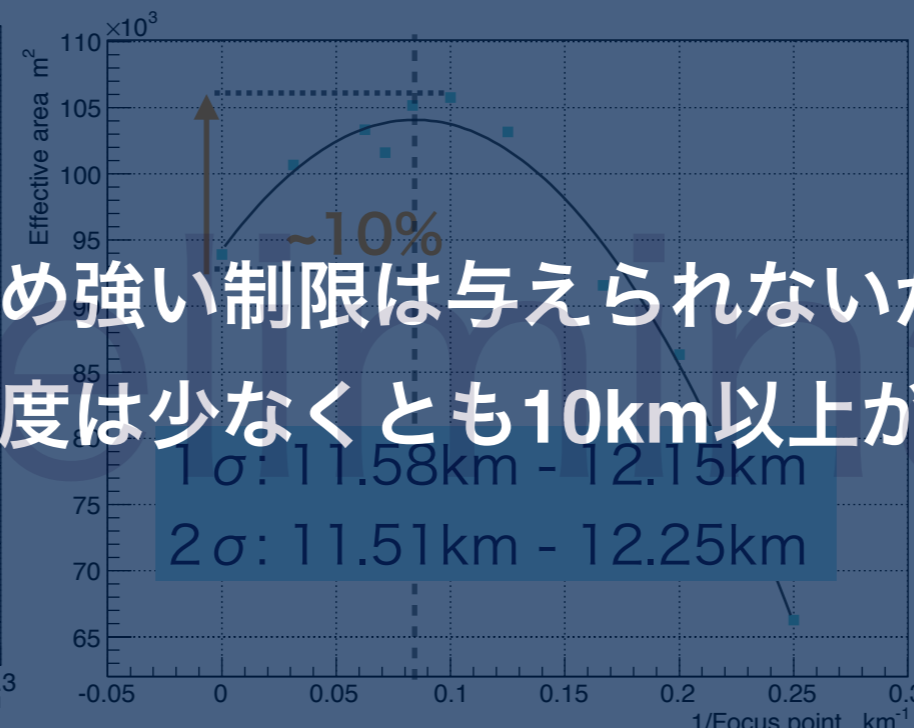
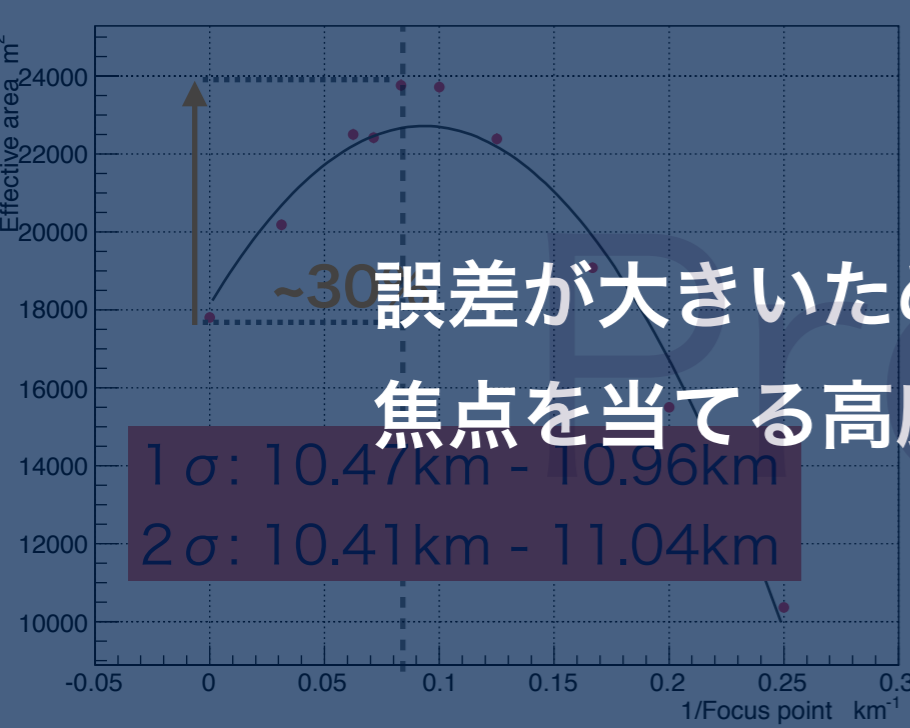
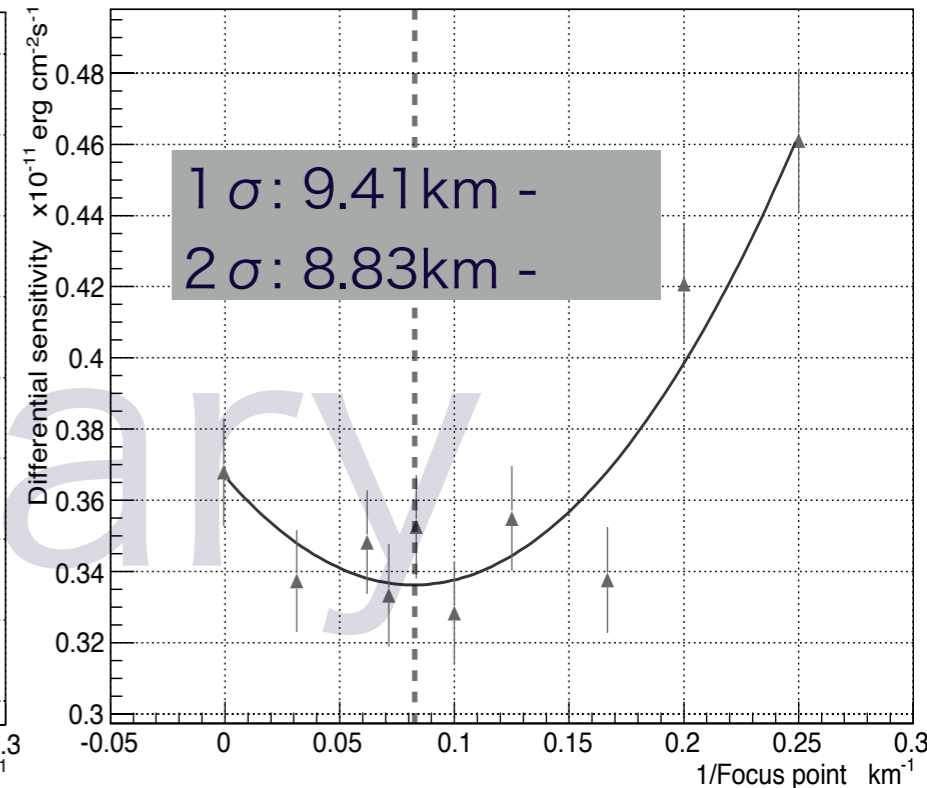
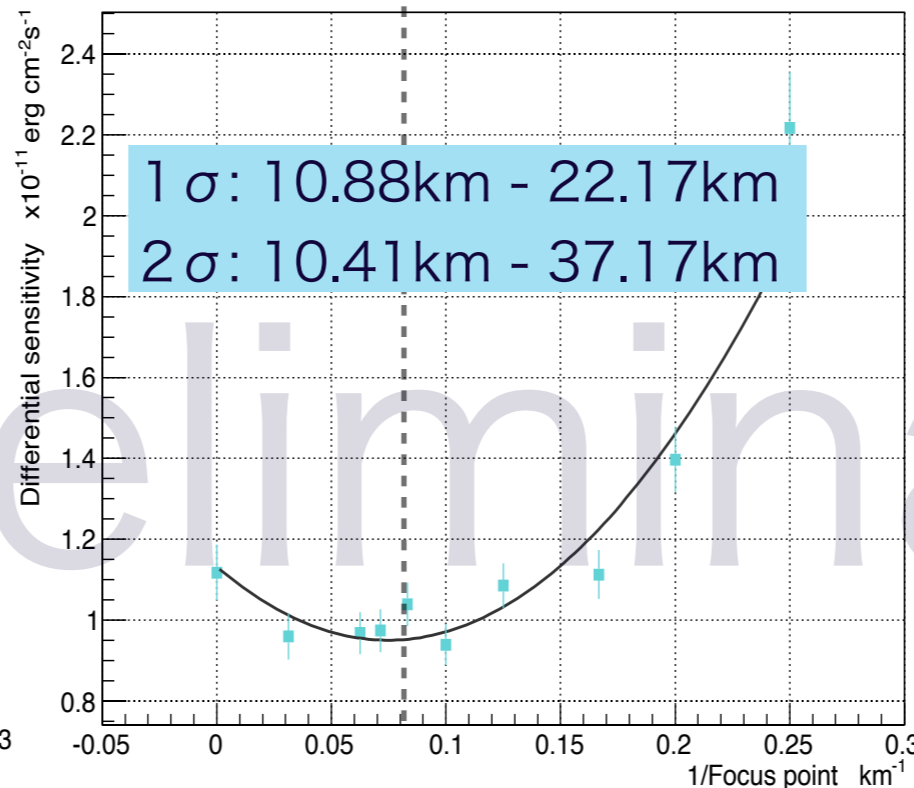
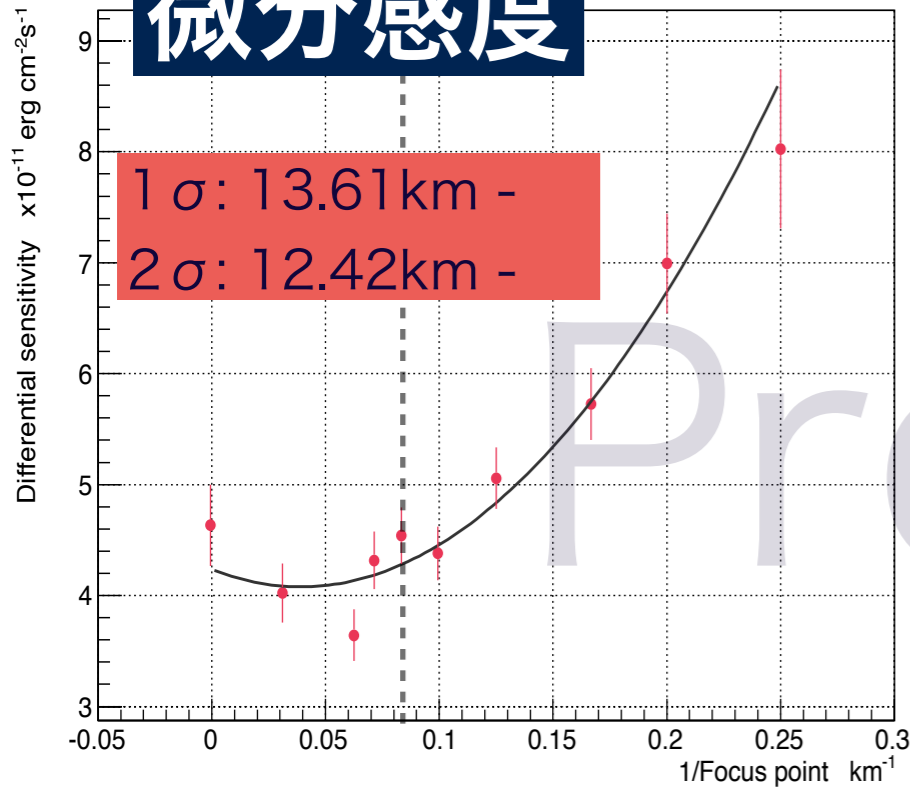
微分感度・有効面積の最適解と信頼区間

20 - 32 (GeV)

32 - 50 (GeV)

50 - 79 (GeV)

微分感度



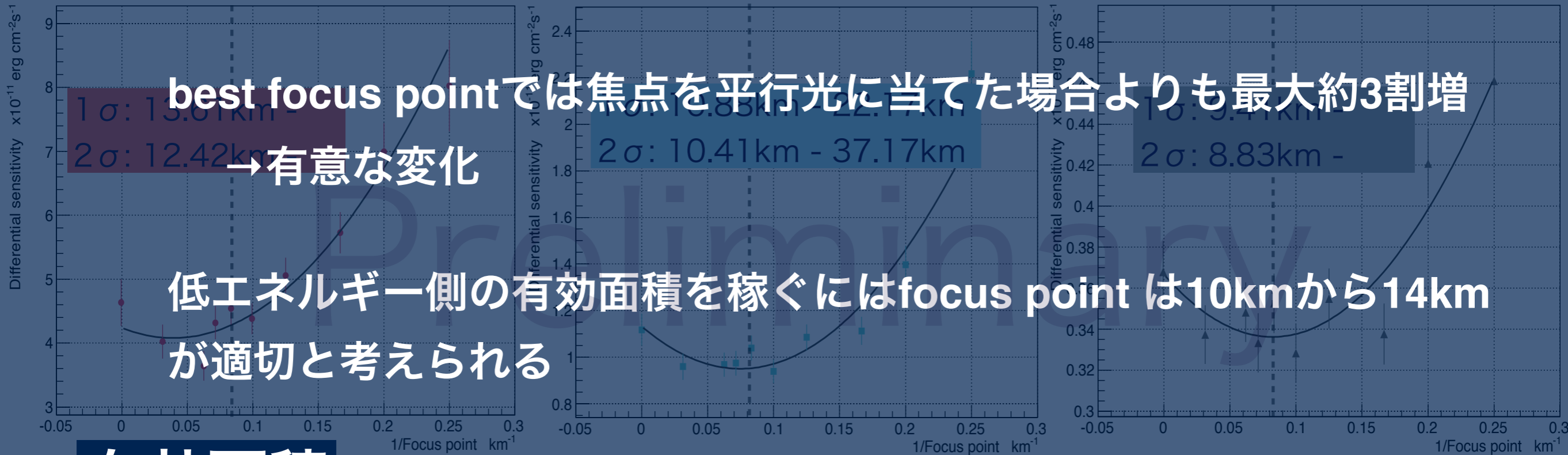
誤差が大きいため強い制限は与えられないが、
焦点を当てる高度は少なくとも10km以上が適切と考えられる

微分感度・有効面積の最適解と信頼区間

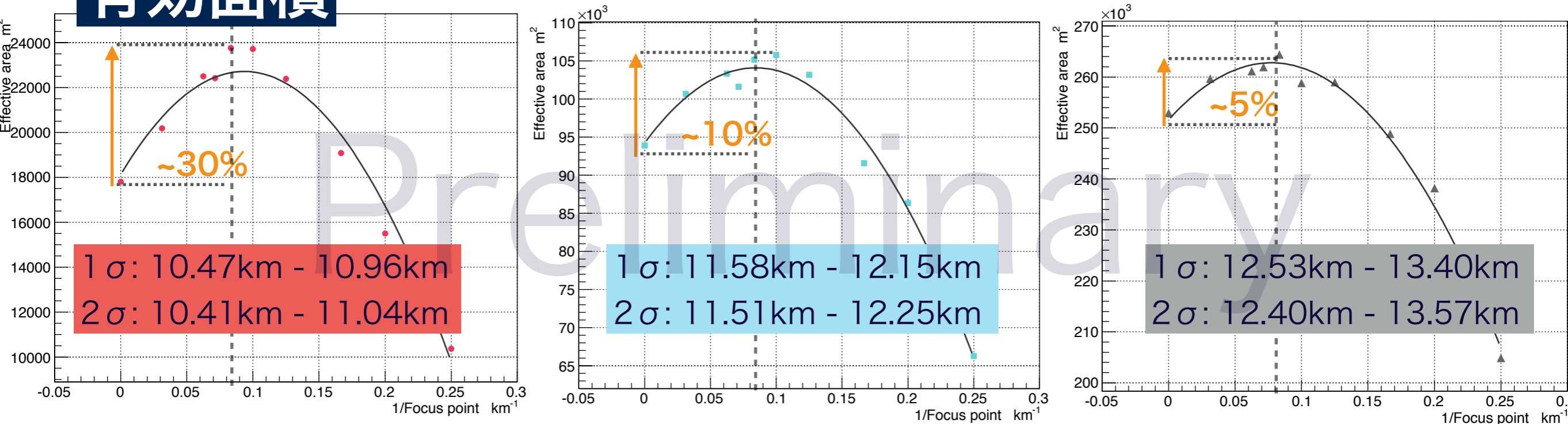
20 - 32 (GeV)

32 - 50 (GeV)

50 - 79 (GeV)



有効面積



Summary & Outlook

大口径望遠鏡のパフォーマンス向上に向けた光学系パラメータ考察

- ◆Focus pointについて20GeV - 80GeVの低エネルギー側の評価
- ◆微分感度による評価では10km以上が適切であると考えられる
- ◆有効面積は10km-14kmで最適
 - さらに制限を与えるには陽子イベントの統計増など工夫が必要